



## Speed, direction, and acceleration sensor for a rotating shaft having a rotor with teeth having unequal spacing

**Patent number:** DE19851942  
**Publication date:** 1999-06-17  
**Inventor:** SUTER CHARLES WILLIAM (US); RIEDLE BRADLEY DEAN (US); FRANCHOCK DAVID ANDREW (US); HAASE ROBERT CARY (US); GIBSON PATRICK WILLIAM (US)  
**Applicant:** FORD GLOBAL TECH INC (US)  
**Classification:**  
- **International:** G01P3/481; G01P3/488; G01P13/04  
- **European:** F02D41/34B4; G01P3/488; G01P3/489; G01P13/04B  
**Application number:** DE19981051942 19981111  
**Priority number(s):** US19970985651 19971205

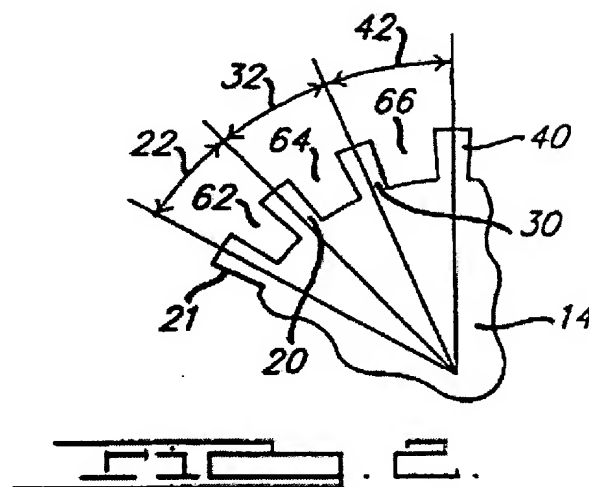
Also published as:

 US5977765 (A1)  
 GB2332060 (A)

Abstract not available for DE19851942

Abstract of corresponding document: **US5977765**

An apparatus is provided to determine the speed and direction of a rotating shaft, including a rotor with three circumferentially spaced teeth connected to the shaft. The spacing of the center of the second rotor tooth is wider than the spacing of the center of the first tooth and the spacing of the center of the third tooth is wider than the spacing of the center of the second tooth. A sensor detects the center of each tooth and produces a signal in response thereto. The signal is received by a computer. The computer determines the speed and direction of rotation of the shaft by determining a first time period to reach the center of the first tooth, a second time period to reach the center of the second tooth and a third time period to reach the center of the third tooth.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 198 51 942 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 P 3/481**  
G 01 P 3/488  
G 01 P 13/04

21 Aktenzeichen: 198 51 942.7  
22 Anmeldetag: 11. 11. 98  
43 Offenlegungstag: 17. 6. 99

DE 198 51 942 A 1

30 Unionspriorität:  
985651 05. 12. 97 US

71 Anmelder:  
Ford Global Technologies, Inc., Dearborn, Mich.,  
US

74 Vertreter:  
Bonsmann, M., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 41063  
Mönchengladbach

72 Erfinder:  
Suter, Charles William, South Lyon, Mich., US;  
Riedle, Bradley Dean, Northville, Mich., US;  
Franchock, David Andrew, Livonia, Mich., US;  
Haase, Robert Cary, Southfield, Mich., US; Gibson,  
Patrick William, Northville, Mich., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Drehzahl-, Richtungs- und Beschleunigungssensor für eine rotierende Welle

57 Eine Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle weist einen Rotor mit drei in Umfangsrichtung beabstandet angeordneten Zähnen auf, die mit der Welle verbunden sind. Der Abstand der Mitte des zweiten Rotorzahns - bezogen jeweils auf die Mitte des vorhergehenden Rotorzahns - ist größer als der Abstand der Mitte des ersten Zahns und der Abstand der Mitte des dritten Zahns ist größer als der Abstand der Mitte des zweiten Zahns. Ein Sensor detektiert die Mitte jedes Zahns und erzeugt daraus ein Signal, das von einem Computer empfangen wird. Der Computer ermittelt die Drehzahl und die Rotationsrichtung der Welle durch Ermitteln einer ersten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des ersten Zahns, einer zweiten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des zweiten Zahns und einer dritten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des dritten Zahns.

DE 198 51 942 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich allgemein auf eine Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle und insbesondere auf eine derartige Vorrichtung, bei der ein Rotor mit Zähnen oder Lücken mit ungleichen Abständen eingesetzt wird.

Moderne Fahrzeuge weisen elektronische Steuerungseinrichtungen auf, um den Betrieb des Fahrzeugs zu überwachen und den Motor, das Getriebe und andere Systeme mit Informationen zur Funktionssteuerung zu versorgen. Ein Parameter, der in mehreren Systemen des Fahrzeugs überwacht wird, ist die Drehzahl rotierender Komponenten. Derartige rotierende Komponenten sind im Getriebe, im Antriebsstrang und in den Rädern vorhanden.

Die meisten vorbekannten Systeme ermitteln die Drehzahl dieser Komponenten, liefern jedoch häufig keine Richtungsinformation. Bei derartigen Systemen wird die Drehbewegung einer rotierenden Komponente durch einen Sensor ermittelt. Üblicherweise ist dazu ein mit einer rotierenden Welle derart verbundener Rotor mit einer Mehrzahl von mit gleichmäßigem Abstand angeordneten Zähnen versehen, daß der Rotor mit der Welle rotiert. An einer Position nahe dem Rotor ist ein Aufnahmesensor angeordnet, um die Zähne abzutasten, wenn der Rotor sich unter dem Sensor entlang bewegt. Weiterhin ist eine Steuerungseinrichtung vorgesehen, die ein Signal von dem Sensor empfängt. Durch Zählen der Zähne und Messen der Zeit kann die Steuerungseinrichtung die Drehzahl der Welle berechnen.

Bei den meisten vorbekannten Systemen sind zusätzliche Sensoren erforderlich, um die Rotationsrichtung der Komponente zu bestimmen. Bei einem bekannten System sind zwei Sensoren in einem bestimmten räumlichen Verhältnis zu den Zähnen des Rotors angeordnet. Durch die Sensoren werden relative Zeiten ermittelt, an denen eine Flanke detektiert wird. Hieraus kann die Steuerungseinrichtung die Rotationsrichtung ermitteln. Der zusätzliche Sensor erhöht jedoch die Kosten des Systems und reduziert dessen Zuverlässigkeit.

Bei einer anderen Vorrichtung zum Messen der Rotationsrichtung ist als Merkmal z. B. ein überdimensionierter Zahn vorgesehen, oder es wird alternativ ein Zahn an dem Rotor weggelassen. Ein derartiges System ist aus der US-PS 49 72 332 (Luebbering et al.), erteilt am 20. November 1992, offenbart. Die Vorrichtung gemäß diesem Patent weist einen Rotor mit dem beschriebenen Merkmal auf. Gemäß der genannten Patentschrift sind ein unterdimensionierter Zahn, der von einem normalbemessenen Zahn umgeben ist, und zwei aufeinanderfolgende unterdimensionierte Zähne vorgesehen, die von dem ersten unterbemessenen Zahn durch drei normalbemessene Zähne getrennt sind. Die Vorrichtung ermittelt sowohl die ansteigenden als auch die abfallenden Flanken der Zähne, um die Drehzahl und die Richtung des Rotors zu bestimmen. Die Richtung des Rotors wird durch Identifikation des einzelnen unterdimensionierten Zahnes bestimmt.

Wenn die bekannte Vorrichtung drei normalbemessene Zähne, gefolgt von zwei unterdimensionierten Zähnen, ermittelt, ist eine erste Richtung festgestellt. Falls die oben angegebene Sequenz nicht ermittelt wird, entscheidet die Steuerungseinrichtung, daß die Welle in die entgegengesetzte Richtung rotiert. Bei der Vorrichtung gemäß dem genannten Patent müssen daher mehrere Zähne an dem Sensor vorbeirotieren, bevor die Rotationsrichtung bestimmt werden kann, und daher verstreicht eine relativ lange Zeit, bevor die Richtung bestimmbar ist. Da das in dem Patent verwendete Verfahren die Flanke der Zähne ermittelt, muß ferner ein Halleffekt-Sensor eingesetzt werden, um die Flanken

des Zahnes genau zu ermitteln. Ein Halleffekt-Sensor ist ein aktiver Sensor mit einem integrierten Schaltkreis, der einen Spannungseingang benötigt, somit ein relativ komplizierter Sensor. Bei einem Halleffekt-Sensor können gelegentliche Zuverlässigkeitsprobleme auftreten. Außerdem ist dieser für eine Temperaturänderung in seiner Betriebsumgebung empfindlich.

Aus der US-PS 53 71 460 (Coffman et al.), erteilt am 6. Dezember 1994, ist ein weiteres System zum Messen der Drehzahl und der Rotationsrichtung einer Welle bekannt. Ein Rotor ist mit einem Zahnepaar versehen, das unterschiedliche Weiten bzw. Breiten aufweist. Die unterschiedlich breiten Zähne sind mit Abstand in Umfangsrichtung um den Rotor herum angeordnet. Wie bei der US-PS 49 72 332 werden gemäß diesem Patent die Flanken der Zähne gemessen und die Breite des Zahns nach dem Ermitteln jeder Flanke des Zahns bestimmt. Die bekannte Vorrichtung kann die Folge der Zähne feststellen und bestimmt hieraus, in welche Richtung die Welle rotiert. Wie bei der US-PS 49 72 332 ist bei diesem Ansatz ein Halleffekt-Sensor erforderlich, um die Flanke der Zähne zu ermitteln, wie vorstehend bereits beschrieben. Da die Zähne paarweise vorgesehen sind, müssen ferner die Lücken zwischen den Zähnen ebenfalls differieren, andernfalls würde das offenbarte Verfahren nicht funktionieren, da abwechselnd ein breiter und ein schmaler Zahn beobachtet werden würde, gleich ob die Welle im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn rotieren würde.

Es erweist sich daher als wünschenswert, eine Vorrichtung zum Messen der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle unter Verwendung eines einfachen Sensors zur Verfügung zu stellen. Es wäre weiterhin wünschenswert, eine Vorrichtung zu schaffen, bei der eine Beschleunigung ausgeglichen wird.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht dementsprechend darin, eine Vorrichtung zum Messen der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle unter Verwendung eines einfachen Sensors zur Verfügung zu stellen, wobei eine Beschleunigung ausgeglichen werden soll.

Zur Lösung der genannten Aufgabe wird eine Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle geschaffen. Hierzu ist ein Rotor mit der Welle verbunden. Der Rotor weist drei in Umfangsrichtung beabstandet zueinander angeordnete Zähne auf. Der Abstand zwischen den Mitten der drei Zähne variiert, wobei der zweite Mittenabstand größer als der erste und der dritte größer als der zweite ist.

Ein Sensor ermittelt die Mitte jedes Zahns und erzeugt daraus ein Signal, das von einem Computer empfangen wird. Der Computer bestimmt die Drehzahl und die Rotationsrichtung der Welle, indem er eine erste Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des ersten Zahns, eine zweite Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des zweiten Zahns sowie eine dritte Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des dritten Zahns bestimmt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockdiagramm eines Systems zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 eine Darstellung eines Abschnitts eines Rotors aus Fig. 1, wobei Zähne dargestellt sind, die unterschiedliche Zahnmittenweiten gemäß einer bevorzugten Ausführungsform aufweisen;

Fig. 3 eine Darstellung der rohen bzw. unbearbeiteten, vom Rotor aus Fig. 2 erzeugten Wellenform, wie sie von einem Sensor gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt wird;

Fig. 4 eine bearbeitete Form der Welle aus Fig. 3, gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 ein Flußdiagramm zum Ermitteln der Rotationsrichtung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 6 ein Beispiel einer Fuzzylogik-Abbildungsstrategie für die vorliegende Erfindung.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung 10 zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle 12 gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung 10 weist einen Rotor 14 auf, der an der Welle 12 befestigt ist, so daß die Welle 12 und der Rotor 14 gemeinsam rotieren. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Rotor 14 der vorliegenden Erfindung auf einer Getriebewelle angeordnet, um deren Drehzahl und Rotationsrichtung zu ermitteln.

Wenn nachfolgend von Abständen der Zahnmitten bzw. Zahnlücken die Rede ist, so beziehen sich diese Abstände im allgemeinen auf die Abstände der jeweiligen Zahnmitte bzw. Zahnücke von der jeweils vorhergehenden Zahnmitte bzw. Zahnücke.

In Fig. 2 ist ein Abschnitt eines bevorzugten Rotors 14 dargestellt, der einen ersten Zahn 20 mit einem ersten Zahnmittenabstand 22 aufweist, gefolgt von einem zweiten Zahn 30 mit einem zweiten Zahnmittenabstand 32, dessen Abmessung größer als der Mittenabstand 22 des ersten Zahns 20 ist. Ein dritter Zahn 40 ist nach dem zweiten Zahn 30 vorgesehen. Der dritte Zahn 40 weist einen dritten Zahnmittenabstand 42 auf, dessen Abmessung größer als der Mittenabstand 32 des zweiten Zahns 30 ist. Dieses Muster einer schmalen Zahnmitte 20, einer mittelbreiten Zahnmitte 30 und einer breiten Zahnmitte 40 wiederholt sich um den Umfang des Rotors 14 herum. Die Anzahl der Zähne ist durch die Größe der Welle 12 und des Rotors 14 sowie durch die Auflösung bestimmt, die zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung gewünscht ist. Wie ersichtlich, kann ein einziger Satz von drei Zähnen vorgesehen sein, aus denen die drei Zahnmittenunterschiede festgelegt sind. In einer bevorzugten Ausführungsform sind jedoch mehrere Sätze vorgesehen, um die Frequenz der Messungen zu erhöhen.

In einer bevorzugten Ausführungsform, wie in Fig. 2 dargestellt, weist jeder der Zähne 20, 30, 40 dieselbe Breite auf. Der Abstand oder die Lücken 62, 64, 66 zwischen den Zähnen 20, 30, 40 variieren, um die verschiedenen Mittenabstände auszubilden. Wie in Fig. 2 dargestellt, ist ein vierter Zahn 21 als Bezug bzw. Referenz vorgesehen, um eine Lücke 62 zwischen der Mitte des ersten Zahns 20 und der Mitte eines in Umfangsrichtung mit Abstand dazu angeordneten Zahns 21 auf der gegenüberliegenden Seite des zweiten Zahns 30 festzulegen. Falls nur drei Zähne vorgesehen würden, fiel der Referenzzahn 21 mit dem dritten Zahn 40 zusammen. In der bevorzugten Ausführungsform sind jedoch aufgrund der Auflösung zusätzliche Zähne vorgesehen, durch die auch die Geschwindigkeit der Ablesungen verbessert wird.

In der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform ist ein Rotor mit acht Gruppen von drei Zähnen 20, 30, 40 versehen. Die Zahnmittenweiten 22, 32, 42 betragen 12, 15 und 18 Grad bzw. sind durch diese Winkel getrennt. Die Zähne 20, 30, 40, 21 haben eine Breite von 6 Grad. Folglich erstreckt sich der erste Zahn 20 über einen Winkel von Null bis 6 Grad, der zweite Zahn 30 von einem Winkel von 12 bis 18 Grad und der dritte Zahn 40 über einen Winkel von 27 bis 33 Grad. Dieses Muster wird über den Umfang des Rotors 14 wiederholt. Die Zahnmitten sind deshalb bei 3, 15 und 30 Grad, entsprechend wiederholt um den Umfang des Rotors 14. Die Mitten der Lücken 62, 64 und 66 sind bei 9, 22,5 und 39 Grad vorgesehen, wiederholt um den Umfang des Rotors 14. Folglich sind die Mitten der Lücken 62, 64, 66 durch

16,5, 15 und 13,5 Grad getrennt, und die Breiten der Lücken 62, 64, 66 betragen 6, 9 und 12 Grad.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform variieren die einzelnen Zahnbreiten, wohingegen die Lücken 62, 64, 66 eine konstante Breite bzw. Weite aufweisen. Daher können die Mitten der Zähne in einer ähnlichen Nachbarbeziehung unter Verwendung von Zähnen 20, 30, 40 mit nichtkonstanten Breiten angeordnet sein.

Wie in Fig. 1 dargestellt, ist nahe dem Rotor 14 ein Sensor 50 vorgesehen. Der Sensor 50 ermittelt das Vorbeilaufen bzw. Passieren der Zähne 20, 30, 40 während der Rotation des Rotors 14. In einer bevorzugten Ausführungsform weist der Sensor 50 einen Sensor mit variabler Reluktanz (VR-Sensor) auf. Der VR-Sensor erzeugt ein Signal, das basierend auf der Nähe der Zähne 20, 30, 40 und der Lücken 62, 64, 66, die auf dem Rotor 14 vorgesehen sind, variiert. Der VR-Sensor weist einen Magnet nahe einer Spule auf. Wenn das Profil des Rotors 14 den Sensor 50 passiert, wie in Fig. 3 dargestellt, wird ein charakteristisches Signal 60 für den in Fig. 2 dargestellten Rotor 14 erzeugt, das eine Sinuswellenform aufweist. Fig. 3 stellt ein 24-Zähne-Rad mit einem Muster von Zähnen dar, die mit einem Abstand von 12, 15 und 18 Grad angeordnet sind; das Rad rotiert mit konstanter Drehzahl bzw. Geschwindigkeit.

Wenn der VR-Sensor 50 eine Änderung im Abstand zwischen dem Sensor und einem der Zähne ermittelt, gibt der Sensor 50 eine Spannung ab, die zu der Änderungsrate des Flusses aufgrund der magnetischen Reluktanz des Rotors 14 unmittelbar nahe dem Sensor 50 proportional ist, wie z. B. ein Zahn (positive Spannung, ansteigend mit der Überlappung Zahn/Sensor 50) oder eine Lücke (negative Spannung, wobei die Amplitude ansteigt, wenn die Überdeckung Zahn/Sensor 50 abnimmt). Wenn der Sensor 50 die Mitte eines Zahns oder einer Lücke ermittelt, überquert das Signal 60 die y-Achse bei dem Wert Null 61 für die Spannung (d. h. Nullrate der Flußänderung). Die Spitzen des Signals 60 stellen die Flanken des jeweiligen Zahns oder der jeweiligen Lücke dar.

Bei Verwendung eines VR-Sensors 50 wird bevorzugt die Mitte der Zähne gegen die Flanken gemessen. Das Messen der Flanken würde ein Messen der Spannung und deren Verarbeiten erfordern, um die Zeiten zu bestimmen, bei denen die Spitzen auftreten. In einer üblichen Anwendung können die Spitzen Spannungen von wenigen Zehnteln Volt bis 100 Volt variieren, außerdem kann die Frequenz von 10 Hz bis zu mehreren Tausend Hz variieren. Ein Nulldurchgangs-Detektor kann mit einem kleinen Eingangsspannungsbereich arbeiten, beispielsweise von plus 2,5 Volt bis minus 2,5 Volt, wobei dieses Signal an den Grenzen abgeklippt wird, wenn das Eingangssignal außerhalb dieses Bereiches liegt. Die Ermittlung einer Spitze ist eine kompliziertere, weniger zuverlässige und kostenintensivere Möglichkeit als die Ermittlung eines Nulldurchgangs. Es ist daher bevorzugt, die Mitten der Zähne oder der Lücken 62, 64, 66 zu messen, wie in Fig. 3 dargestellt, indem die Nullspannungswerte nachgewiesen werden, wie oben beschrieben. Daher unterscheidet sich der VR-Sensor 50 von einem Sensor des Halleffekt-Typs des Standes der Technik, der die Größe des Flusses ermittelt und nicht die Änderung in dem Fluß. Der vorbekannte Halleffekt-Sensor ermittelt die Flanken der Zähne 20, 30, 40 und nicht die Mitten der Zähne 20, 30, 40 (oder die Mitten der Lücken 62, 64, 66), wie hier beschrieben.

Das von dem VR-Sensor 50 erzeugte Signal 60 wird bzw. verarbeitet, um die in Fig. 4 dargestellte Wellenform 70 auszubilden. Die Weite der bearbeiteten Wellenform 70 ist proportional zu der Mittenweite 22, 32, 42 des ermittelten Zahns. Folglich weist beispielsweise, wenn der Rotor 14 gegen den Uhrzeigersinn rotiert, wie in Fig. 2 dargestellt, das

dargestellte Muster in der Wellenform 70 einen schmalen Abschnitt 72 der Wellenform, wenn der dritte Zahn 40 den Sensor 50 passiert, einen mittelbreiten Abschnitt 74, wenn der zweite Zahn 30 passiert, und einen breiten Abschnitt 76 auf, wenn der erste Zahn 20 den Sensor 50 passiert. Alternativ würde die Wellenform, wenn die Welle 12 im Uhrzeigersinn rotiert, eine breite Welle, gefolgt von einer mittelbreiten Welle und sodann einer schmalen Welle aufweisen. Daher kann durch Abtasten der Mitten von nur drei Zähnen 20, 30, 40 die Rotationsrichtung von einem Computer 55 nachgewiesen werden.

Falls nur zwei Zähne in einem wiederholten Muster vorgesehen wären, wäre der Computer 55 nicht in der Lage, durch Messen nur zweier Zähne zu bestimmen, in welche Richtung die Welle 12 rotiert, da das Muster in beiden Richtungen schmal/breit/schmal/breit sein würde. Ein Beispiel eines Rotors, auf den diese Beschreibung zutrifft, ist in Fig. 1 der US-PS 53 71 460 dargestellt. Damit die vorliegende Erfindung mit einem derartigen Rotor arbeiten kann, muß der Mittenabstand der Zähne und der Mittenabstand der Lücken gemessen werden, um ein brauchbares Muster auszubilden.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist der Sensor 50 einen VR-Sensor auf. Sensoren mit variabler Reluktanz sind allgemein im Handel erhältlich (z. B. von der American Electronic Components, Inc., 1010 North Main Street, Elkhart, Indiana, USA). Im Gegensatz zu dem in der US-PS 49 72 332 verwendeten Halleffekt-Sensor benötigt ein VR-Sensor 50 nur zwei Leitungen und keinen Stromeingang. Daher ist die Kompliziertheit des Sensors 50 minimiert und folglich die Zuverlässigkeit verbessert.

Wie in Fig. 3 dargestellt, überquert die von dem VR-Sensor 50 erzeugte Spannung die Nullachse 61 bei der Mitte des Zahns auf einer abfallenden Neigung 63 und wieder bei der Mitte der Lücke zwischen den Zähnen 65. Die Zeit zwischen dem Nullspannungseingang für die abfallende Spannung wird von einem Computer 55 überwacht, wie z. B. einem Antriebsstrang-Steuermodul (PCM) im Fall eines Getriebes, um die Relativzeit zwischen Zahnmitten nachzuweisen. Daher ist der Computer 55 in der Lage, die relative Breite des Zahns und/oder der Lücke zu bestimmen.

In einer bevorzugten Ausführungsform wurde ermittelt, daß die Nullspannung des Zahns 63 bei einer Messung verlässlicher ist als die Nullspannung der Lücke 65. Daher wird bei dieser bevorzugten Ausführungsform die Nullspannung des Zahns 63 verwendet, die als eine abfallende Flanke der Wellenform 60 dargestellt ist, wie in Fig. 3 gezeigt. Jedoch könnte auch die Spannung der Lücke 65 in einer alternativen Ausführungsform verwendet werden, wie oben beschrieben. Wenn der Computer 55 eine Nullspannung ermittelt, weist der Computer einem Register eine Zeit zu, wie weiter unten beschrieben. Der Computer 55 mißt dann die Zeit, bei der die nächste Nullspannung ermittelt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird, sobald die Rotationsrichtung ermittelt ist, wie oben beschrieben, bei höheren Drehzahlen nicht jeder Zahn gemessen. So wird beispielsweise oberhalb von 1000 U/min jeder dritte Zahn gemessen, da jeder dritte Zahn in einem gleichen Abstand angeordnet ist. Auf diese Weise kann jede Beschleunigung oder Verlangsamung leicht ermittelt werden, indem die Zeit, bei der der vorherige dritte Zahn den Sensor 50 passiert hat, mit der Zeit verglichen wird, in der der aktuelle dritte Zahn den Sensor 50 passiert.

In einer bevorzugten Ausführungsform speichert der Computer 55 die vier jüngsten Zeiten, zu denen eine Zahnmitte ermittelt wurde. In einer bevorzugten Ausführungsform wird, wenn der Rotor 14 mit einer konstanten Drehzahl in eine Richtung rotiert, irgendein Satz von vier aufeinander-

folgenden Zahnmitten-Zeiten verwendet, um die Rotationsrichtung zu bestimmen. Die Zeiten, bei denen die Zahnmitten den Sensor 50 passieren, sind in dem Computer 55 als  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  und  $T_3$  gespeichert.  $T_0$  ist die jüngste gemessene Zeit und  $T_3$  die von diesen älteste gemessene Zeit. Der Computer 55 subtrahiert jede der Zeiten, um eine Delta-Zeit zu bestimmen (z. B. die zwischen den Zähnen 20 und 30 oder 30 und 40 oder 40 und 20 verstrichene Zeit). Die Delta-Zeiten  $T_0-T_1$ ,  $T_1-T_2$ , und  $T_2-T_3$  werden als kurz (S), mittel (M) oder lang (L) klassifiziert, indem die einzelnen Delta-Zeiten mit der mittleren Delta-Zeit verglichen werden.

Eine erste Richtung wird bestimmt, wenn ein Muster von Zähnen ermittelt wird, bei dem der Computer 55 nachweist, daß  $T_0-T_1$  S ist,  $T_1-T_2$  M ist und  $T_2-T_3$  L ist; oder daß  $T_0-T_1$  M ist,  $T_1-T_2$  L ist und  $T_2-T_3$  S ist, oder daß  $T_0-T_1$  L ist,  $T_1-T_2$  S ist und  $T_2-T_3$  M ist. Die entgegengesetzte Richtung wird angezeigt, wenn  $T_0-T_1$  S ist,  $T_1-T_2$  L ist und  $T_2-T_3$  M ist, oder wenn  $T_0-T_1$  M ist,  $T_1-T_2$  S ist und  $T_2-T_3$  L ist oder wenn  $T_0-T_1$  L ist,  $T_1-T_2$  M ist und  $T_2-T_3$  S ist.

Wenn die Welle 12 die Drehzahl ändert, ändern sich die mittleren und einzelnen Delta-Zeiten umgekehrt proportional zur Drehzahl. Bei niedrigeren Drehzahlen und höheren Änderungsraten ist es möglich, eine unkorrekte oder nicht-schlüssige Klassifikation der Delta-Zeiten als klein, mittel oder groß aufgrund einer Beschleunigung zu erhalten. Die bevorzugte Ausführungsform berücksichtigt dies durch ein implizites Korrigieren bei einer Beschleunigung und durch Verwenden eines robusten bzw. nichtanfälligen Klassifikationsverfahrens, wie nachstehend beschrieben.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine Reihe bzw. Schlange von sechs aufeinanderfolgenden Zahnmitten-Zeiten benutzt (die Zeit für den abfallenden Übergang des Signals in Fig. 4), um die Daten für die Klassifikation zu erzeugen, sowie ein Rückschluß- bzw. Inferenzalgorithmus bei niedrigen Drehzahlen (vorzugsweise unterhalb 1000 U/min) eingesetzt. In dieser Ausführungsform stellen  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  und  $T_5$  die Zeiten dar, bei der die Zahnmitten den Sensor 50 passieren, wobei  $T_0$  die neueste Zeit ist. Der Computer 55 berechnet drei Verhältnisse:  $R_1 = (T_1-T_2)/(T_0-T_3)$ ,  $R_2 = (T_2-T_3)/(T_1-T_4)$  und  $R_3 = (T_3-T_4)/(T_2-T_5)$ . Der Computer 55 vergleicht auf diese Weise jede einzelne Delta-Zeit mit der Summe von drei Delta-Zeiten, zu denen die derzeitige Delta-Zeit, die vorherige Delta-Zeit und die nachfolgende Delta-Zeit gehören. Dadurch wird eine implizite (und näherungsweise) Korrektur für eine konstante Beschleunigung der Welle 12 bewirkt.

Wie in dem Flußdiagramm der Fig. 5 dargestellt, wird der Vorgang zunächst gestartet (Schritt 51), wobei zu dieser Zeit neue Daten gesammelt werden (Schritt 52). Jeder Datenwert bzw. jede Größe hat eine Zeitmarke und wird in einer Schlange als  $T_i$  gespeichert, wie oben beschrieben. Vorzugsweise werden Berechnungen bei niedrigen Drehzahlen mit sechs Daten in der Schlange bzw. in Reihe durchgeführt 54. Die Verhältnisse  $R_i$  werden wie oben beschrieben gebildet (Schritt 56), sodann werden die Zugehörigkeitswerte berechnet (Schritt 57), und daraus wird die Richtung abgeleitet (Schritt 58). Schließlich wird die Drehzahl berechnet (Schritt 59). In einer alternativen Ausführungsform werden  $T_0-T_3$ ,  $T_1-T_4$  und  $T_2-T_5$  benutzt, um Schätzungen der Beschleunigung durchzuführen und eine ausgeklügeltere Korrektur für die Beschleunigung zu erzielen. In einer derartigen Ausführungsform wird die Reihenfolge bzw. Größenordnung der Lücken klassifiziert, indem von expliziten Schätzungen der Beschleunigung Gebrauch gemacht wird.

Die vorliegende Erfindung weist ferner Einrichtungen zum Schützen der rotierenden Welle 12 vor einer Umkehrung der Richtung bei hohen Drehzahlen auf, wie z. B. in einem Getriebe. Wie vorstehend beschrieben, wird bevorzugt

eine Schlange von sechs aufeinanderfolgenden Zahnmitte-Zeiten verwendet, um die Daten für die Klassifikation und den Inferenzalgorithmus zu erzeugen. Wenn sich die Drehzahl jedoch erhöht, nimmt die Zeit ab, innerhalb derer aufeinanderfolgende Zahnmitte-Zeiten den Sensor 50 passieren und die partielle bzw. anteilige Drehzahländerung über drei Delta-Zeiten hinweg ist vernachlässigbar. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Rotationsrichtung bei höheren Drehzahlen, insbesondere über 1000 U/min, unter Verwendung von vier Zahnzeiten anstatt von sechs bestimmt, wobei die Verhältnisse  $(T_0 - T_1)/(T_0 - T_3)$ ,  $(T_1 - T_2)/(T_0 - T_3)$  und  $(T_2 - T_3)/(T_0 - T_3)$  sind.

Denn das System könnte, falls beispielsweise der Computer 55 zurückgesetzt wird, während das Fahrzeug mit einer Drehzahl der Abtriebswelle 12 oberhalb von 1000 U/min die Straße entlangfährt, nicht in der Lage sein, sechs aufeinanderfolgende Zahnmitte-Zeiten zu erhalten. Jedoch könnte es in der Lage sein, vier aufeinanderfolgende Zahnmitte-Zeiten zu messen. Folglich ist die Rotationsrichtung der Abtriebswelle bestimmt und bekannt, wenn das Fahrzeug im Leerlauf erneut gestartet wird und sich mit hohen Drehzahlen bewegt, wodurch das Getriebe geschützt wird. Beispielsweise soll das Getriebe nicht vom Leerlauf in den Rückwärtsgang geschaltet werden können, während das Fahrzeug oberhalb einer vorgegebenen Drehzahl vorwärts fährt. Der Computer 55 wird es daher dem Fahrer nicht ermöglichen, einen Gang in dem Getriebe zu wählen, der die Rotationsrichtung des Rotors 14 umkehren würde, bis die Drehzahl der Welle 12 sich Null nähert.

Die vorliegende Erfindung sieht ferner ein Filter vor, um durch Vibration erzeugte Störungen bzw. erzeugtes Rauschen zu isolieren. Der Sensor 50 mit variabler Reluktanz mißt im wesentlichen Änderungen in dem Luftspalt zwischen dem Sensor 50 und dem Rotor 14. Während der Rotor 14 sich nicht dreht, kann der Rotor 14 Linear- oder Rotationsvibrationen relativ zum Sensor 50 ausgesetzt sein. Diese Vibrationen können den Spalt variieren und daher eine Spannung vom Sensor 50 erzeugen. Falls die Vibrationsquelle periodisch ist, wird dadurch bei Verwendung eines herkömmlichen vorbekannten Systems mit in gleichen Abständen voneinander angeordneten Zielen das Signal von dem Computer 55 interpretiert, als ob die Welle 12 mit einer konstanten, zu der Vibration proportionalen Drehzahl rotiert. Ohne ein Filtern wird daher eine vom Motor erzeugte Vibration zu einem Rauschen bzw. zu einer Störung führen, das bzw. die ein Signal proportional zu den Maschinendrehzahlen erzeugt. Es wurde festgestellt, daß die Vibration normalerweise nicht dem oben beschriebenen Muster kurze Periode/mittlere Periode/lange Periode gehorchen. In einer bevorzugten Ausführungsform wird daher das Signal bei niedrigen Drehzahlen gefiltert. Dabei werden alle Daten gestrichen bzw. nicht berücksichtigt, die nicht einem Muster lang/mittel/kurz oder kurz/mittel/lang entsprechen.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird Fuzzylogik verwendet, um einen robusten bzw. nicht anfälligen Richtungsermittlungsalgorithmus zu implementieren. Fuzzylogik-Techniken sind Fachleuten wohlbekannt und werden deshalb nicht eingehender beschrieben. Nähere Einzelheiten sind z. B. aus der Publikation Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, von George J. Klir und Bo Yuan (Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey 07458. ISBN = 0-13-101171-5) ersichtlich, auf die hinsichtlich der näheren Einzelheiten hier ausdrücklich Bezug genommen wird.

Dementsprechend werden für jedes Verhältnis  $R_i$  (mit  $i = 1, 2, 3$ ) drei Zugehörigkeitswerte  $A_i$ ,  $B_i$  und  $C_i$  berechnet.  $A_i$  kann im wesentlichen als die Stärke der Feststellung bzw. Behauptung " $R_i$  ist klein",  $B_i$  als die Stärke von " $R_i$  ist mit-

tel" und  $C_i$  als die Stärke von " $R_i$  ist groß" interpretiert werden. Die Stärke der Behauptung bzw. Feststellung "die Welle 12 dreht sich in Richtung 1" wird unter Verwendung von Fuzzylogikregeln berechnet, um die Behauptung zu bewerten " $\{(R_1 \text{ ist klein}) \text{ und } (R_2 \text{ ist mittel}) \text{ und } (R_3 \text{ ist groß})\}$  oder " $\{(R_1 \text{ ist mittel}) \text{ und } (R_2 \text{ ist groß}) \text{ und } (R_3 \text{ ist klein})\}$  oder " $\{(R_1 \text{ ist groß}) \text{ und } (R_2 \text{ ist klein}) \text{ und } (R_3 \text{ ist mittel})\}$ ". Die Stärke der Behauptung "die Welle 12 dreht sich in Richtung 2" wird unter Verwendung von Fuzzylogikregeln berechnet, um die Behauptung zu bewerten " $\{(R_1 \text{ ist klein}) \text{ und } (R_2 \text{ ist groß}) \text{ und } (R_3 \text{ ist mittel})\}$  oder " $\{(R_1 \text{ ist mittel}) \text{ und } (R_2 \text{ ist klein}) \text{ und } (R_3 \text{ ist groß})\}$  oder " $\{(R_1 \text{ ist groß}) \text{ und } (R_2 \text{ ist mittel}) \text{ und } (R_3 \text{ ist klein})\}$ ". Die Stärken der zwei Richtungs-Feststellungen können verglichen werden, um zu bestimmen, in welche Richtung die Welle 12 sich dreht. Falls beide Richtungs-Feststellungen schwach sind, wird sodann entweder bestimmt, daß die Drehzahl Null ist, oder es wird angenommen, daß die Richtung gegenüber der letzten bekannten Richtung unverändert ist. Ein Beispiel einer möglichen Implementierung wird nachfolgend erläutert (vgl. Fig. 6):

$$D_1 = A_1 \cdot B_2 \cdot C_3 + B_1 \cdot C_2 \cdot A_3 + C_1 \cdot A_2 \cdot B_3, \text{ und} \\ D_2 = A_1 \cdot C_2 \cdot B_3 + B_1 \cdot A_2 \cdot C_3 + C_1 \cdot B_2 \cdot A_3,$$

wobei jedes  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  und  $D_i$  zwischen 0 und 1 liegt und 1 sehr stark und 0 sehr schwach ist. Die Rotationsrichtung wird durch die Differenz  $D_1 - D_2$  bestimmt. Die Größe der Differenz  $D_1 - D_2$  legt das Vertrauen in die Rotationsrichtung fest. Fig. 6 zeigt eine mögliche Abbildung von  $R_i$  auf  $A_i$ ,  $B_i$  und  $C_i$  für einen 24-Zahn-Rotor 14 mit einem Abstandsmuster von 12, 15, 18 Grad. Wie in Fig. 6 dargestellt, ist die Summe von  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  bei jedem Verhältnis  $R$  Eins. Mit der vorstehend beschriebenen Verwendung eines Fuzzylogik-Verfahrens wird somit ein Vertrauensgrad für die Rotationsrichtung ermittelt.

Zu einem weiteren Merkmal der vorliegenden Erfindung gehört eine Fehlerermittlung, mittels derer bestimmt wird, ob der Sensor 50 umgekehrt verdrahtet ist. In einem derartigen Fall ist die Polarität der Spannung des Sensors 50, wie in Fig. 3 dargestellt, umgekehrt. Die positiven Spitzen werden zu negativen Spitzen und umgekehrt. Dadurch entsprechen die fallenden Übergänge in Fig. 4 den Lückenmitte-Zeiten anstatt den Zahnmitte-Zeiten. Dieser Zustand kann ermittelt werden unter Ausnutzung der Tatsache, daß die großen und kleinen Lückenmitte-Weiten andere Größen haben als die großen bzw. kleinen Zahnmitte-Weiten. In dem vorstehend beschriebenen Beispiel sind die Zahnmitte-Zeiten durch 12, 15 und 18 Grad und die Lückenmitte-Zeiten durch 13,5, 15 und 16,5 Grad getrennt. Dieser Zustand könnte auch durch Vergleich der abgeleiteten Richtung mit einer ansonsten für richtig bzw. gültig angesehenen Richtung (abgeleitet durch den Computer oder das Antriebsstrang-Steuerungsmodul (PCM) unter Verwendung anderer Eingangssignale, oder von einem externen Prüfsystem an einer Montagelinie) ermittelt werden. Der Computer 55 kann dann das Signal vom Sensor 50 zurückweisen und ein Fehlersignal an den Fahrer abgeben oder die Signalabgabe vom Sensor 50 permanent auf den richtigen Wert umschalten, oder von der Verwendung der fallenden Übergänge in Fig. 4 auf ein Verwenden der ansteigenden Übergänge in Fig. 4 umschalten, sobald festgestellt wird, daß der Sensor 50 nicht richtig verdrahtet ist.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle, mit:  
einem Rotor (14), der mit der Welle (12) verbunden ist

und wenigstens drei in Umfangsrichtung beabstandet angeordnete Zähne (20, 30, 40) aufweist, wobei die Mitte des ersten Zahns (20) einen ersten Abstand (22), die Mitte des zweiten Zahns (30) einen zweiten, vom ersten Abstand (22) unterschiedlichen Abstand (32) und die Mitte des dritten Zahns (40) einen dritten, von dem zweiten und dem ersten Abstand (32, 22) unterschiedlichen Abstand (42) aufweist; einem Sensor (50) zum Ermitteln der Mitte jedes Zahns (20, 30, 40) und zum Erzeugen eines Signals als Antwort darauf und einem Computer (55) zum Empfangen des Signals und zum Ermitteln der Drehzahl und der Rotationsrichtung der in eine erste Richtung rotierenden Welle (12) durch Ermitteln einer ersten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des ersten Zahns (20), einer zweiten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des zweiten Zahns (30) und einer dritten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des dritten Zahns (40).

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Zahn (30) zwischen dem ersten und dem dritten Zahn (20, 40) vorgesehen ist und daß eine erste Rotationsrichtung ermittelt ist, wenn die erste Zeitdauer größer als die zweite Zeitdauer ist, und eine zweite Rotationsrichtung ermittelt ist, wenn die erste Zeitdauer kleiner als die zweite Zeitdauer ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der drei Zähne (20, 30, 40) eine Breite aufweist, die im wesentlichen dieselbe wie die Breite der anderen zwei Zähne ist, wobei zwischen jeweils den Zähnen (20, 30, 40) eine Lücke (62, 64, 66) mit einer vorgegebenen Weite vorgesehen ist und der Mittenabstand (22, 32, 42) durch Variieren der Weite der Lücke (62, 64, 66) zwischen den Zähnen (20, 30, 40) variiert ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (50) einen Sensor mit variabler Reluktanz (VR-Sensor) aufweist und ferner ein Filter zum Beseitigen von Signalen aus durch Vibration erzeugtem Rauschen vorgesehen ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Filter so ausgelegt ist, daß der Computer (55) die Signale ignoriert, falls die relativen Zeitdauern nicht einem der Muster lang/mittel/kurz oder kurz/mittel/lang folgen.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Satz von drei in ähnlicher Weise beabstandet angeordneten Zähnen in Umfangsrichtung mit Abstand nahe dem ersten Satz von drei Zähnen (20, 30, 40) angeordnet ist, um ein sich wiederholendes Muster auszubilden, bei dem die Zähne in Sätzen von Zähnen angeordnet sind, die einen zunehmend ansteigenden Zahnmittenabstand (22, 32, 42) aufweisen, und daß die Drehzahl und die Rotationsrichtung der Welle (12) ermittelt wird, indem ferner eine siebte Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des vierten Zahns, eine achte Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des fünften Zahns und eine neunte Zeitdauer zum Erreichen der Mitte des sechsten Zahns ermittelt wird.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahl der Welle (12) durch Messen der Zeit zum Erreichen jedes dritten Zahns bestimmt wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigung durch Vergleichen der Zeit zum Erreichen des jüngsten dritten Zahns mit der Zeit zum Erreichen des vorherigen dritten Zahns bestimmt wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verhältnis berechnet wird, indem die Differenz der zwei Zeitdauern, die gerade vor der jüngsten gemessenen Zeitdauer gemessen wurden, durch die Differenz zwischen der jüngsten gemessenen Zeitdauer und der Zeitdauer, die drei Zeitdauern vor der jüngsten gemessenen Zeitdauer gemessen wurde, dividiert wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß Fuzzylogik verwendet wird, um die Rotationsrichtung zu bestimmen, wobei sechs Zeitdauern gemessen werden, drei Verhältnisse berechnet werden und drei Sätze von Zugehörigkeitswerten festgestellt werden, um die Rotationsrichtung zu bestimmen.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß vier Zeitdauern gemessen werden, drei Verhältnisse berechnet werden und drei Sätze von Zugehörigkeitswerten festgestellt werden, um die Rotationsrichtung während hoher Drehzahlen zu ermitteln.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß Einrichtungen vorgesehen sind, die eine Umkehrung des Rotors (14) verhindern, wenn nicht die Drehzahl unterhalb eines vorgegebenen Wertes liegt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Vertrauensgrad in die Rotationsrichtung unter Verwendung der Zugehörigkeitswerte festgestellt wird.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (50) ein Paar elektrische Anschlüsse aufweist und ferner eine Einrichtung vorgesehen ist, die eine Verpolung der elektrischen Anschlüsse ermittelt.

15. Sensor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor einen Sensor (50) mit variabler Reluktanz aufweist.

16. Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle, mit einem Rotor (14), der mit der Welle (12) verbunden ist und eine Mehrzahl von in Umfangsrichtung beabstandet angeordneten Zähnen (20, 30, 40) sowie drei zwischen den Zähnen (20, 30, 40) vorgesehene Lücken (62, 64, 66) aufweist, wobei die erste Lücke (62) einen ersten Mittenabstand (22), die zweite Lücke (64) einen zweiten Mittenabstand (32), der größer als der Mittenabstand (22) der ersten Lücke (62) ist, und die dritte Lücke (66) einen dritten Mittenabstand (42) aufweist, der größer als der Mittenabstand (32) der zweiten Lücke (64) ist;

einem Sensor (50) zum Ermitteln der Mitte jeder Lücke (62, 64, 66) und zum Erzeugen eines Signals als Antwort darauf; und mit

einem Computer (55) zum Empfangen des Signals und zum Ermitteln der Drehzahl und der Rotationsrichtung der in eine erste Richtung rotierenden Welle (12) durch Ermitteln einer ersten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte der ersten Lücke (62), einer zweiten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte der zweiten Lücke (64) und einer dritten Zeitdauer zum Erreichen der Mitte der dritten Lücke (66).

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verhältnis berechnet wird, indem die Differenz zweier Zeitdauern, die gerade vor der jüngsten gemessenen Zeitdauer gemessen wurden, durch die Differenz zwischen der jüngsten gemessenen Zeitdauer und der Zeitdauer, die drei Zeitdauern vor der jüngsten gemessenen Zeitdauer gemessen wurde, dividiert wird.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet,



zeichnet, daß Fuzzylogik eingesetzt wird, um die Rotationsrichtung zu Ermitteln, wobei sechs Zeitdauern gemessen werden, drei Verhältnisse berechnet werden und drei Sätze von Zugehörigkeitswerten festgestellt werden, um die Rotationsrichtung zu ermitteln.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein Vertrauensgrad in die Rotationsrichtung unter Verwendung der Zugehörigkeitswerte festgestellt wird.

20. Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahl und der Richtung einer rotierenden Welle, mit:

einem Rotor (14), der mit der Welle (12) verbunden ist und eine Mehrzahl von Sätzen von drei in Umfangsrichtung mit Abstand angeordneten Zähnen (20, 30, 40) aufweist, wobei die Mitte des ersten Zahns (20) einen ersten Abstand (22), die Mitte des zweiten Zahns (30) einen zweiten Abstand (32), der größer als der erste Abstand (22) ist, und die Mitte des dritten Zahns (40) einen dritten Abstand (42) aufweist, der größer als der zweite Abstand (32) ist;

einem VR-Sensor (50) zum Ermitteln der Mitte jedes Zahns (20, 30, 40) und zum Erzeugen eines Signals als Antwort darauf; und

einem Computer (55) zum Empfangen des Signals und zum Einsetzen von Fuzzylogik zum Ermitteln der Drehzahl und der Rotationsrichtung der in einer ersten Richtung rotierenden Welle (12) durch Ermitteln einer Zeitdauer zum Erreichen der Mitte von sechs Zähnen, wobei drei Verhältnisse berechnet werden, indem die Differenz der zwei Zeitdauern, die gerade vor der jüngsten gemessenen Zeitdauer gemessen wurden, durch die Differenz zwischen der jüngsten gemessenen Zeitdauer und der Zeitdauer, die drei Zeitdauern vor der jüngsten gemessenen Zeitdauer gemessen wurde, dividiert wird, und wobei drei Sätze von Zugehörigkeitswerten festgestellt werden, um die Rotationsrichtung zu ermitteln und einen Vertrauensgrad in die Rotationsrichtung festzulegen.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

40

45

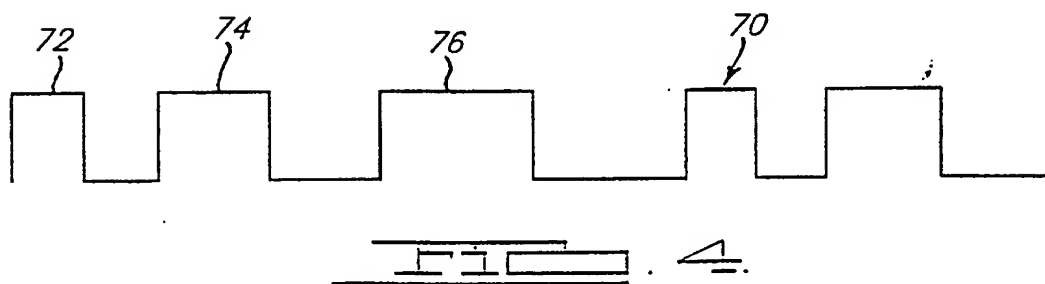
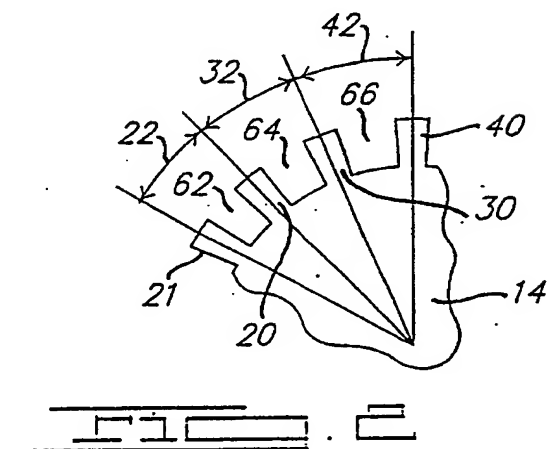
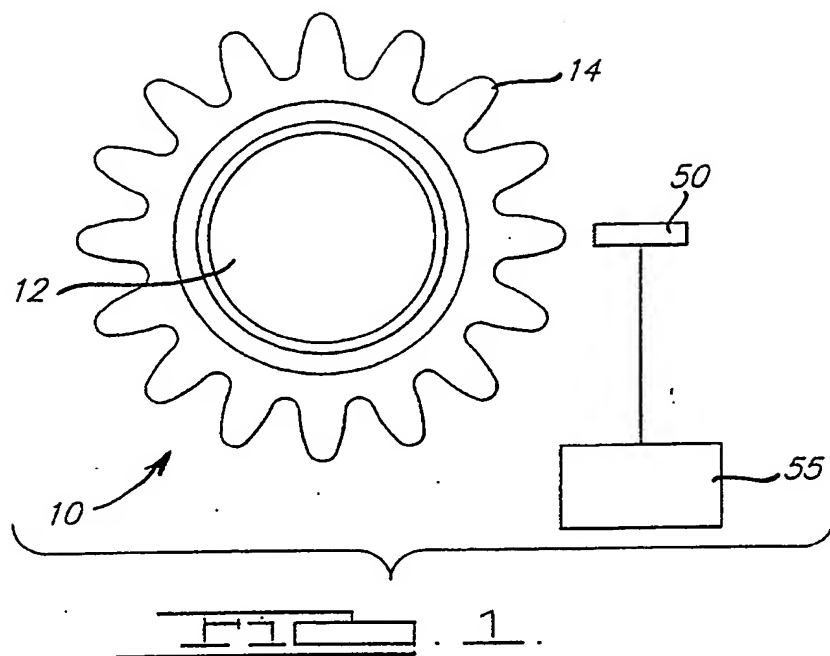
50

55

60

65





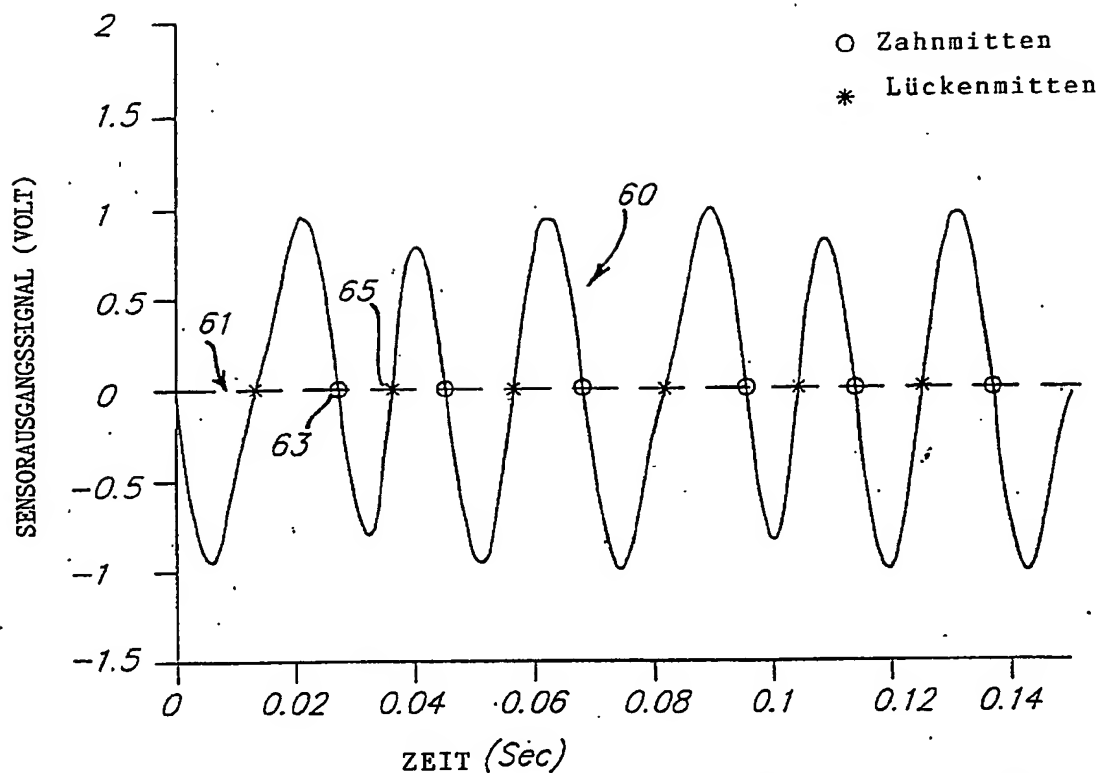


FIG. 3.

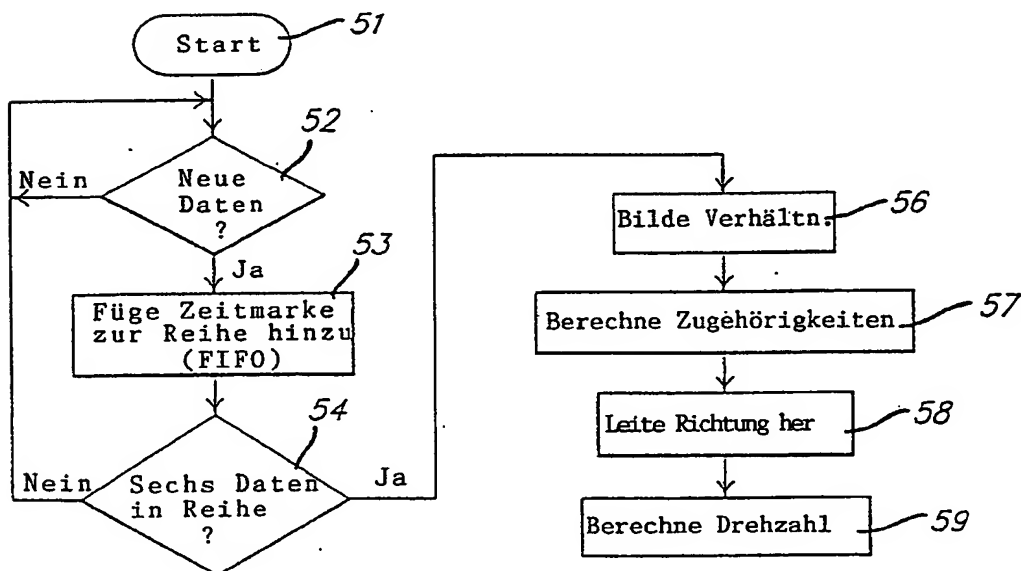


FIG. 4.

